

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250401003

引用格式: 王凤怡, 吴双慧, 李曦, 等. 氯吡脲施用方式对四川猕猴桃品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(13): 230–236.

WANG FY, WU SH, LI X, *et al.* Effects of application methods of forchlorfenuron on the quality of *Actinidia chinensis* in Sichuan Province [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(13): 230–236. (in Chinese with English abstract).

氯吡脲施用方式对四川猕猴桃品质的影响

王凤怡¹, 吴双慧¹, 李曦¹, 方春燕¹, 岳宁¹, 胡莉¹,
丁燕², 贺光云¹, 侯雪^{1*}

(1. 四川省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 成都 610064; 2. 四川省绿色食品发展中心, 成都 610041)

摘要: 目的 明确谢花后氯吡脲浸果和喷雾处理对四川猕猴桃品质的影响, 确定氯吡脲的最佳施用方式。

方法 在猕猴桃谢花后 20 d, 使用氯吡脲分别对红阳和金艳进行浸果和喷雾处理, 在成熟期采摘后对果实形态结构、质地等外观品质、氨基酸含量以及内在营养品质指标进行分析检测。**结果** 相较喷雾处理, 氯吡脲浸果处理可显著提升金艳猕猴桃中可溶性糖和干物质的含量, 对果实的纵横径、果形指数、氨基酸以及其他品质指标无显著影响。不同于金艳猕猴桃, 相较喷雾, 氯吡脲浸果处理不仅能提高红阳果实纵横径、单果重以及丙氨酸和组氨酸含量, 还降低了果实硬度和可滴定酸含量, 提高维生素 C、固酸比、干物质、可溶性糖和可溶性固形物以及总酚含量, 更有利于猕猴桃口感改善及品质提升。**结论** 根据主成分分析结果, 综合考虑氯吡脲浸果和喷雾处理后果实单果重、果形指数及品质指标等变化, 确定氯吡脲浸果处理更有利于红阳猕猴桃的果实形态优化、果实软化、口感改善以及品质提升。因此, 氯吡脲在猕猴桃种植过程中建议红阳猕猴桃浸果方式使用其效果最佳, 而金艳猕猴桃浸果和喷雾均适宜。本研究可为四川猕猴桃生产上氯吡脲科学规范使用提供技术支撑。

关键词: 四川猕猴桃; 氯吡脲; 浸果; 喷雾; 营养品质

Effects of application methods of forchlorfenuron on the quality of *Actinidia chinensis* in Sichuan Province

WANG Feng-Yi¹, WU Shuang-Hui¹, LI Xi¹, FANG Chun-Yan¹, YUE Ning¹,
HU Li¹, DING Yan², HE Guang-Yun¹, HOU Xue^{1*}

(1. Institute of Quality Standard and Testing Technology for Agro-products, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610064, China; 2. Sichuan Green Food Development Center, Chengdu 610041, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate the effects of forchlorfenuron dipping and spraying on the quality of *Actinidia chinensis* in Sichuan Province after flowering and determine the optimal application method. **Methods** At 20 days after flowering, Hongyang and Jinyan *Actinidia chinensis* were treated with forchlorfenuron by dipping and spraying.

收稿日期: 2025-04-01

基金项目: 四川省农业科学院人才培养项目(NKYRCZX2025025); 农产品品质规格营养功能评价项目(GF-SGPZ-2024023)

第一作者: 王凤怡(1994—), 女, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品质量安全风险评估研究工作。E-mail: wangfengyichem@163.com

*通信作者: 侯雪(1984—), 女, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全风险评估研究工作。E-mail: houxue127@163.com

At maturity, fruits were harvested, and their morphological structure, texture, external quality, amino acid content, and internal nutritional quality indicators were analyzed. **Results** Compared to spraying, forchlorfenuron dipping could significantly increase soluble sugar and dry matter content in Jinyan *Actinidia chinensis* but had no significant effect on fruit longitudinal and transverse diameters, fruit shape index, amino acid content as well as other parameters. Different from Jinyan *Actinidia chinensis*, forchlorfenuron dipping could increase Hongyang fruit longitudinal and transverse diameters, single fruit weight, and the content of alanine and histidine. It also reduced fruit firmness and titratable acid content while improving the ascorbic acid, solid-acid ratio, dry matter, soluble sugar, soluble solids and total polyphenol content, enhancing taste and quality. **Conclusion** According to the results of principal component analysis, forchlorfenuron dipping is more effective than spraying in optimizing fruit morphology, softening fruit, improving taste, and enhancing the quality of both Hongyang *Actinidia chinensis*. Therefore, dipping is recommended as the optimal forchlorfenuron application method for the cultivation of Hongyang *Actinidia chinensis*, yet dipping and spraying with forchlorfenuron are both suitable for Jinyan *Actinidia chinensis*. This study provides technical support for the scientific and standardized use of forchlorfenuron in Sichuan *Actinidia chinensis* production.

KEY WORDS: *Actinidia chinensis* in Sichuan Province; forchlorfenuron; dipping; spraying; nutrient quality

0 引言

猕猴桃是原产于我国的野生木质藤本果树, 为猕猴桃科称猕猴桃属。作为我国重要的经济作物, 猕猴桃在全国范围内广泛种植, 其中陕西、四川、湖北、湖南、安徽等省份已成为主要产区, 并成为部分山区脱贫致富的主要产业^[1-3]。四川是我国猕猴桃优势产区之一, 同时是世界首个红肉猕猴桃品种“红阳”的诞生地以及全球最大的红肉猕猴桃种植基地。2023 年四川猕猴桃收获面积 68 万亩、产量 53 万 t, 面积和产量仅次于陕西, 位居全国第二。目前, 四川主栽的猕猴桃品种主要有红阳、东红、金艳以及阳光金果等, 这些品种因其富含粗纤维、糖、酸、蛋白质、氨基酸、酚类等多种物质, 具有较高的营养价值和药用价值, 一直以来深受人们喜爱^[4-5]。

膨大剂是猕猴桃生产中常用的一种植物生长调节剂, 具有加速细胞分裂, 促进细胞增大、分化和蛋白质合成, 提高坐果率和促进果实增大等功能, 广泛用于农业生产^[6-8]。农产品中常用的膨大剂有氯吡脲、噻苯隆和赤霉素等^[9-11]。膨大剂的使用有一定技术要求, 对不同作物及品种的调控效果有差异, 因此, 合理使用膨大剂能达到增加产量、提早成熟以及改善猕猴桃果实品质等目的, 然而一味追求果园高产, 滥用膨大剂会导致树体早衰、果实品质变差以及果实货架期缩短等^[12-14]。前期研究显示, 适宜浓度的氯吡脲处理对脐红^[15]、“奉黄 1 号”^[16]、中华“50”^[17]、东红、贵长以及其他猕猴桃品种均具有显著促膨效果, 但高浓度处理会降低可溶性固形物等核心品质指标^[18-21]。此外, 程欢等还探究氯吡脲施用次数对猕猴桃品质的影响, 研究表明 1 次施药和 2 次施药的膨大效果差

异不显著, 但 1 次施药猕猴桃营养品质好于 2 次施药。除此之外, 目前研究主要集中于膨大剂对猕猴桃品质的影响^[23-25], 以及毛花猕猴桃^[26]、软枣猕猴桃^[27]及不同猕猴桃品种的果实品质与综合评价等^[28-30]。

据中国农药信息网查询可知, 浸果和喷雾是氯吡脲在猕猴桃上的主要施用方式, 浸果是在猕猴桃膨果期即谢花后 15~30 d 内直接将果实浸泡在氯吡脲溶液中, 此方法操作耗时但猕猴桃果实浓度更为均匀, 喷雾主要是利用背式喷雾器或药泵喷洒在果实表面, 该方法省时省力, 目前猕猴桃种植面积大的农户会选择此方法, 但氯吡脲两种施用方式对四川猕猴桃品质影响目前鲜有研究报道。因此, 本研究采用氯吡脲浸果和喷雾两种方式处理红阳和金艳猕猴桃, 比较分析不同氯吡脲施用方式对果实外观品质、氨基酸含量及营养品质的影响, 并通过主成分分析对猕猴桃品质进行综合评价, 筛选出氯吡脲合适的施用方式, 从而为氯吡脲科学规范使用提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

氯吡脲浸果和喷雾处理猕猴桃幼果实验在四川省眉山市东坡区百信果园家庭农场进行。选择金艳猕猴桃(黄肉)和红阳猕猴桃(红肉)两个品种, 分别在采收期采集氯吡脲浸果和喷雾两种不同方式处理的猕猴桃样品。

无水乙醇、乙腈、甲酸、甲醇(色谱纯, 德国 CNW 公司); 氢氧化钠、无水碳酸钠(分析纯, 北京化工厂); 3,5-二硝基水杨酸(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 盐酸(优级纯, 西陇化工股份有限公司); 标准品: 丙氨酸、精氨酸、天门冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、组氨酸、异亮

氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、脯氨酸、丝氨酸、苏氨酸、酪氨酸、缬氨酸(纯度均大于 97%, 美国 AMETEK 公司); 实验用水为超纯水(四川优普超纯科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

1989 系列游标卡尺(中国广陆公司); FT-327 型硬度计(意大利 Breuzzi 公司); ACQUITY UPLC I-Class/Xevo TQ-XS 超高效液相色谱-串联三重四极杆质谱仪(美国 Waters 公司); Agilent 1200 高效液相色谱仪、1100 高效液相色谱仪(配二极管阵列检测器和示差折光检测器)(美国 Agilent 公司); PAL-1 型折光仪(日本 ATAGO 公司); UV2550 紫外分光光度计、AUY220 型电子天平(精度 0.01 g)、AUY220 型分析天平(精度 0.0001 g)(日本岛津公司); SFG 型电热恒温鼓风干燥箱(黄石市恒丰医疗器械有限公司); Neofuge 18R 型多功能冷冻离心机(上海力新仪器有限公司); HH-ZK1 恒温水浴锅(上海昀冠机电设备有限公司); TG-1850 高速离心机(四川蜀科仪器有限公司); KQ5200DE 超声波仪(昆山市超声仪器有限公司); UPH-1-20L 实验室超纯水仪(四川优普超纯科技有限公司)。

1.3 实验方法

金艳猕猴桃(黄肉)和红阳猕猴桃(红肉)分别采用氯吡脞喷雾和浸果处理, 具体实验方法如下: 在幼果期即谢花后 20 d 分别采用浸果和喷雾的方式施用 0.1% 氯吡脞可溶性液剂, 实施方法为: 金艳猕猴桃在幼果期(即谢花后 20 d)用 2.5 mg/kg (0.1% 氯吡脞可溶性液剂 50 mL, 兑水 20 kg)浸蘸幼果 1 次, 红阳猕猴桃在幼果期即谢花后 20 d 用 10.5 mg/kg (0.1% 氯吡脞可溶性液剂 50 mL, 兑水 4.75 kg)浸蘸幼果 1 次。喷雾施药方法为: 在谢花后 20 d 分别采用背式喷雾器和药泵在相同浓度条件下对金艳和红阳猕猴桃幼果进行均匀喷洒, 待成熟后分别进行样品采集。

1.4 样品测定

1.4.1 猕猴桃感官分析

对猕猴桃的果实硬度、单果重、果实横径、果实纵径、果形指数等主要形态学特征指标进行检测。采果后各样品取 6 个猕猴桃, 测定单果重、果实横径和纵径, 其中, 果形指数为纵径/横径。

1.4.2 猕猴桃常规理化分析

对采集猕猴桃果实的可溶性固性物、可溶性糖、可滴定酸、糖酸比、干物质、维生素 C 等主要品质指标进行分析检测。本次检测主要品质指标及其检测方法如表 1 所示。

1.5 数据处理

采用 Excel 2012 版软件对数据进行初步整理以及统计分析, 利用 IBM SPSS 26 软件对数据进行显著性差异分析和主成分分析。

表 1 猕猴桃营养品质检测指标及方法
Table 1 Detection indicators and methods for nutrient quality of *Actinidia chinensis*

检测指标	检测方法
可溶性固形物	NY/T 2637—2014《水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定 折射仪法》
干物质	GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》
可滴定酸	NY/T 839—2004《鲜李》
维生素 C	GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》
可溶性糖	NY/T 2742—2015《水果及制品可溶性糖的测定 3,5-二硝基水杨酸比色法》
氨基酸	GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》
总酚	GB/T 8313—2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》
花青素	NY/T 2640—2014《植物源性食品中花青素的测定 高效液相色谱法》

2 结果与分析

2.1 氯吡脞施用方式对猕猴桃外观品质的影响

从图 1 可以看出, 红阳和金艳猕猴桃外观大小和表皮颜色呈现明显差异, 且氯吡脞不同施用方式处理的金艳猕猴桃的单果重、纵横径以及果实硬度均高于红阳猕猴桃, 尤其是单果重, 比红阳猕猴桃高约 2 倍(表 2), 表明品种特性是决定猕猴桃外观品质的关键因素。

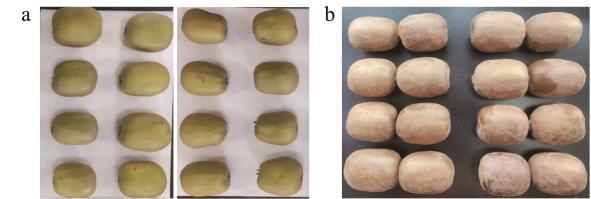


图 1 氯吡脞浸果(左)和喷雾(右)处理下红阳猕猴桃(a)和金艳猕猴桃(b)的果实形态
Fig.1 Fruit morphologies of Hongyang (a) and Jinyan *Actinidia chinensis* (b) treated with forchlorfenuron dipping (left) and spraying (right)

此外, 从图 1a 可明显看出, 与浸果相比, 氯吡脞喷雾处理的红阳猕猴桃外观基本呈现出上小下大的不规则形状, 且表面不平整, 这可能由于药泵压力大, 喷射出液体洒在猕猴桃上后由于液滴的重力作用向下聚集, 从而使猕猴桃底部的氯吡脞液体较多, 出现不均匀的细胞分裂, 进而使猕猴桃底部更粗大。另外, 图 1b 果实形态结果显示, 浸果处理的果实外观相对较为平整, 喷雾处理的猕猴桃果实偶有表面凹陷不平或上小下大的情况出现, 进一步表明氯吡脞浸果处理有助于促进猕猴桃果实形态优化。

表 2 结果显示, 相较喷雾处理, 氯吡脞浸果处理的红阳猕猴桃, 不论是单果重、纵横径以及果实硬度均表现出

表 2 氯吡脞浸果和喷雾处理的红阳和金艳猕猴桃果实外观品质						
Table 2 External quality of Hongyang and Jinyan <i>Actinidia chinensis</i> treated with forchlorfenuron dipping and spraying						
品种	处理	单果重/g	纵径/mm	横径/mm	果形指数	果实硬度
红阳	浸果	94.31±4.92 ^a	63.36±1.48 ^a	49.87±1.11 ^a	1.27±0.02 ^a	11.98±1.00 ^a
	喷雾	81.74±8.28 ^b	61.40±2.01 ^b	47.02±1.98 ^b	1.31±0.06 ^a	12.74±0.54 ^b
金艳	浸果	183.32±8.15 ^a	78.70±1.58 ^a	65.23±1.52 ^a	1.43±0.63 ^a	13.10±1.20 ^a
	喷雾	189.10±13.72 ^a	78.75±1.62 ^a	65.54±2.54 ^a	1.21±0.03 ^a	13.49±0.65 ^a

注: 同列数据不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

显著差异(P<0.05), 其中, 单果重以及纵横径均高于喷雾处理的红阳猕猴桃, 尤其是单果重提高 15.4%, 而果形指数略有减小, 果实更倾向于圆形。果实硬度结果表明, 氯吡脞浸果处理的红阳猕猴桃果实硬度明显小于喷雾处理, 降低约 5.96%。与红阳猕猴桃不同, 经不同施用方法处理的金艳猕猴桃果实纵横径和果形指数间基本无差异(P>0.05), 喷雾处理的金艳猕猴桃单果重略有增加, 但幅度较小。而氯吡脞浸果处理的金艳猕猴桃的果实硬度略低于喷雾处理。结果表明, 与喷雾方式相比, 氯吡脞浸果处理有助于促进猕猴桃果实软化。

2.2 氯吡脞施用方式对猕猴桃氨基酸含量的影响

氨基酸是猕猴桃果实品质的重要组成部分, 也是影响果品鲜食以及贮藏和加工等环节的重要参数^[5,23]。为了探究氯吡脞不同施用方式对四川猕猴桃品质的影响, 对成熟期不同处理方式的猕猴桃果实中 16 种氨基酸和总氨基酸含量分别进行测定, 结果如表 3 和表 4 所示。整体而言, 红阳和金艳猕猴桃的总氨基酸含量仍保持相近水平, 该数

据也与文献报到结果一致^[31]。其中, 金艳猕猴桃中谷氨酸含量相较红阳猕猴桃高约 2 倍, 而红阳猕猴桃中精氨酸含量明显高出金艳猕猴桃约 3 倍, 而其他氨基酸含量相差较小, 这表明两种猕猴桃在氨基酸含量上仍具有各自相对独特的特征, 即金艳猕猴桃在谷氨酸含量上占优, 红阳猕猴桃则在精氨酸含量上表现更为突出。

相较喷雾处理, 氯吡脞浸果处理的红阳猕猴桃果实中鲜味氨基酸谷氨酸含量有所降低, 而甜味氨基酸组氨酸和丙氨酸含量有所增加, 且两处理组中谷氨酸、丙氨酸和组氨酸含量存在显著性差异(P<0.05), 而总氨基酸及天门冬氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、丝氨酸等均无显著性差异(P>0.05)。此外, 还考察了氯吡脞不同施用方式对金艳猕猴桃中氨基酸含量的影响, 从表 4 数据可知, 不同于红阳猕猴桃, 氯吡脞浸果处理的成熟期金艳猕猴桃中 16 种氨基酸均无显著性差异(P>0.05), 表明氯吡脞浸果和喷雾处理对金艳猕猴桃中氨基酸含量无显著影响。研究结果表明, 氯吡脞浸果处理可通过特异性调控风味氨基酸含量来优化红阳猕猴桃的口感和品质。

表 3 氯吡脞浸果和喷雾处理红阳猕猴桃果实中氨基酸含量(g/100 g)

Table 3 Amino acid content in fruits of Hongyang <i>Actinidia chinensis</i> treated with forchlorfenuron via dipping and spraying (g/100 g)		
氨基酸	浸果	喷雾
天门冬氨酸	0.099±0.011 ^a	0.111±0.014 ^a
苏氨酸	0.034±0.002 ^a	0.034±0.004 ^a
丝氨酸	0.032±0.002 ^a	0.034±0.004 ^a
谷氨酸	0.124±0.014 ^a	0.143±0.018 ^b
甘氨酸	0.030±0.004 ^a	0.033±0.004 ^a
丙氨酸	0.061±0.015 ^a	0.043±0.012 ^b
缬氨酸	0.031±0.003 ^a	0.033±0.004 ^a
蛋氨酸	0.007±0.001 ^a	0.007±0.001 ^a
异亮氨酸	0.026±0.003 ^a	0.028±0.002 ^a
亮氨酸	0.040±0.005 ^a	0.042±0.004 ^a
酪氨酸	0.012±0.002 ^a	0.013±0.001 ^a
苯丙氨酸	0.022±0.003 ^a	0.024±0.002 ^a
组氨酸	0.034±0.004 ^a	0.030±0.004 ^b
赖氨酸	0.042±0.004 ^a	0.045±0.005 ^a
精氨酸	0.246±0.049 ^a	0.214±0.044 ^a
脯氨酸	0.018±0.004 ^a	0.020±0.0002 ^a
总氨基酸	0.860±0.040 ^a	0.850±0.100 ^a

注: 同行数据不同小写字母表示差异显著(P<0.05), 表 4~6 同。

表 4 氯吡脞浸果和喷雾处理金艳猕猴桃果实中氨基酸含量(g/100 g)

Table 4 Amino acid content in fruits of Jinyan <i>Actinidia chinensis</i> treated with forchlorfenuron via dipping and spraying (g/100 g)		
氨基酸	浸果	喷雾
天门冬氨酸	0.106±0.012 ^a	0.107±0.011 ^a
苏氨酸	0.039±0.004 ^a	0.042±0.004 ^a
丝氨酸	0.038±0.004 ^a	0.039±0.004 ^a
谷氨酸	0.229±0.030 ^a	0.258±0.026 ^a
甘氨酸	0.038±0.003 ^a	0.039±0.004 ^a
丙氨酸	0.073±0.019 ^a	0.069±0.012 ^a
缬氨酸	0.039±0.003 ^a	0.041±0.004 ^a
蛋氨酸	0.008±0.001 ^a	0.007±0.001 ^a
异亮氨酸	0.034±0.003 ^a	0.035±0.002 ^a
亮氨酸	0.043±0.003 ^a	0.044±0.004 ^a
酪氨酸	0.015±0.002 ^a	0.015±0.001 ^a
苯丙氨酸	0.025±0.002 ^a	0.024±0.002 ^a
组氨酸	0.041±0.002 ^a	0.041±0.002 ^a
赖氨酸	0.046±0.003 ^a	0.047±0.004 ^a
精氨酸	0.073±0.012 ^a	0.079±0.005 ^a
脯氨酸	0.020±0.002 ^a	0.020±0.001 ^a
总氨基酸	0.860±0.090 ^a	0.910±0.080 ^a

2.3 氯吡脞施用方式对猕猴桃营养品质的影响

本研究还考察了氯吡脞浸果和喷雾方式对猕猴桃 8 项内在品质指标的影响, 详见表 5。从表 5 中可知, 相较喷雾, 氯吡脞浸果方式处理的成熟期红阳猕猴桃果实中除可滴定酸和花青素外, 红阳猕猴桃中维生素 C、固酸比、干物质、可溶性糖和可溶性固形物以及总酚含量均高于喷雾处理; 可溶性固形物、可滴定酸、可溶性糖、固酸比及花青素均呈现显著性差异($P<0.05$), 其中, 可溶性糖增加幅度最大为 52.7%。而可滴定酸和花青素含量低于氯吡脞喷雾处理的猕猴桃, 表明相较喷雾方式, 氯吡脞浸果处理对红阳猕猴桃果实风味有积极作用。

表 5 氯吡脞浸果和喷雾处理的红阳猕猴桃果实中营养品质含量

Table 5 Content of nutritional quality in Hongyang Actinidia chinensis treated with forchlorfenuron via dipping and spraying

品质指标	浸果	喷雾
维生素 C/(mg/100 g)	107.00±9.08 ^a	93.00±5.08 ^a
可溶性固形物/%	16.30±1.90 ^a	12.10±2.02 ^b
可滴定酸/%	1.07±0.11 ^a	1.24±0.10 ^b
固酸比	15.40±2.94 ^a	9.07±1.66 ^b
可溶性糖/%	12.00±2.41 ^a	7.35±2.07 ^b
干物质/(g/100 g)	17.70±0.93 ^a	16.20±3.55 ^a
总酚/%	0.14±0.03 ^a	0.13±0.03 ^a
花青素/(mg/kg)	8.66±1.33 ^a	10.06±1.52 ^b

进一步考察氯吡脞浸果和喷雾处理对金艳猕猴桃中维生素 C、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、固酸比、可溶性糖含量、干物质、总酚和花青素共 8 项品质指标的影响。表 6 结果显示, 与红阳猕猴桃不同, 除固酸比略低于氯吡脞喷雾处理的金艳猕猴桃外, 其他指标含量均高于喷雾处理, 其中, 氯吡脞浸果和喷雾对金艳猕猴桃的可溶性糖和干物质两个指标有显著性差异($P<0.05$)。此外, 氯吡脞浸果和喷雾对其余品质指标均无显著性影响($P>0.05$), 说明氯吡脞浸果处理可促进金艳猕猴桃果实中可溶性糖和干物质的累积。

表 6 氯吡脞浸果和喷雾处理的金艳猕猴桃果实中营养品质含量

Table 6 Content of nutritional quality in Jinyan Actinidia chinensis treated with forchlorfenuron via dipping and spraying

品质指标	浸果	喷雾
维生素 C/(mg/100 g)	122.13±11.50 ^a	117.38±9.71 ^a
可溶性固形物/%	15.75±0.55 ^a	15.36±0.28 ^a
可滴定酸/%	0.98±0.02 ^a	0.96±0.06 ^a
固酸比	16.04±0.83 ^a	16.08±1.16 ^a
可溶性糖/%	12.31±0.97 ^a	11.22±0.98 ^b
干物质/(g/100 g)	17.63±0.54 ^a	16.98±0.63 ^b
总酚/%	0.13±0.02 ^a	0.11±0.01 ^a
花青素/(mg/kg)	6.40±2.20 ^a	5.02±1.29 ^a

2.4 氯吡脞施用方式对猕猴桃品质的综合评价

主成分分析作为一种经典的多变量统计技术, 广泛应用于高维数据的降维与特征提取。该方法通过线性变换, 从复杂的多维数据集中提取出一组相互正交的主成分, 这些主成分能够高效地浓缩数据的绝大部分关键信息^[30,32]。因此, 本研究对影响红阳和金艳猕猴桃果实外观和营养品质的 14 项指标(单果重、纵径、横径、果形指数、果实硬度、总氨基酸、可滴定酸、可溶性糖、维生素 C、可溶性固形物、干物质、固酸比、总酚以及花青素)统一进行主成分分析, 分析结果表明, 第一主成分的特征值为 9.213, 贡献率为 65.81%, 主要由单果重、纵径、横径、果实硬度以及总氨基酸决定, 第二主成分主要由可溶性固形物、可溶性糖、固酸比以及维生素 C 决定, 特征值和贡献率分别为 2.721 和 19.44%, 第三主成分主要是总酚、干物质、果形指数、花青素以及可滴定酸决定, 特征值和贡献率为 2.066 和 14.76%。用 3 个主成分对不同氯吡脞施用方式处理的四川猕猴桃品质进行综合评价。由图 2 可知, 相较浸果处理, 氯吡脞喷雾处理后的红阳猕猴桃综合得分较低, 说明氯吡脞浸果处理更有利于猕猴桃口感改善以及品质提升。而与红阳猕猴桃不同, 氯吡脞浸果和喷雾处理的金艳猕猴桃的综合品质得分均较高, 其中, 喷雾处理的综合得分相对更高。这表明在人工成本受限的情况下, 采用氯吡脞均匀喷雾处理金艳猕猴桃是一种较为理想的替代方案。

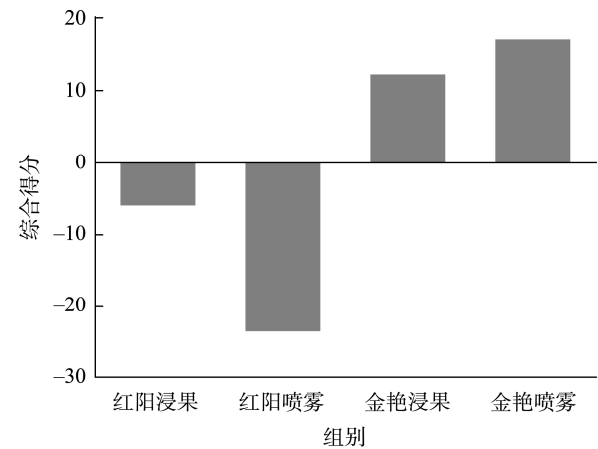


图 2 氯吡脞不同施用方式对猕猴桃综合品质的影响

Fig.2 Effects of different application methods of forchlorfenuron on the comprehensive quality of *Actinidia chinensis*

3 结 论

氯吡脞浸果处理与喷雾处理相比, 氯吡脞浸果处理可显著提升金艳猕猴桃中可溶性糖和干物质的含量, 对果实的纵横径、果形指数、氨基酸以及其他品质指标无显著影响。而红阳猕猴桃不同, 相较喷雾处理, 氯吡脞浸果处理不仅可以提高红阳猕猴桃中果实纵横径、单果重以及丙

氨酸和组氨酸含量, 还能够降低采收时果实硬度和可滴定酸含量, 提高维生素 C、固酸比、干物质、可溶性糖和可溶性固形物以及总酚含量, 同时主成分分析结果进一步表明, 氯吡脞浸果处理更有利于红阳猕猴桃口感改善以及品质提升, 而在人工成本受限的情况下, 采用氯吡脞均匀喷雾处理金艳猕猴桃是一种较为理想的替代方案。

参考文献

- [1] 杨远品, 余纪萱, 周欣怡. 江山市猕猴桃产业发展及电商化策略探析[J]. 浙江农业科学, 2025, 66(1): 274–280.
YANG YJ, YU JX, ZHOU XY. Analysis on the development and e-commerce strategies of kiwifruit industry in Jiangshan City [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2025, 66(1): 274–280.
- [2] 李大卫, 黄文俊, 钟彩虹. 中国猕猴桃产业现状及“十五五”发展建议[J]. 果树学报, 2024, 41(11): 2149–2159.
LI DW, HUANG WJ, ZHONG CH. Current status of China's kiwifruit industry and development recommendations for the “15th Five-Year Plan” [J]. Journal of Fruit Science, 2024, 41(11): 2149–2159.
- [3] 齐秀娟, 王然, 张敏, 等. 猕猴桃育种研究进展[J]. 果树学报, 2024, 41(11): 2160–2172.
QI XJ, WANG R, ZHANG M, *et al.* Research progress in kiwifruit breeding [J]. Journal of Fruit Science, 2024, 41(11): 2160–2172.
- [4] 常虹, 张翼钊, 钱建平, 等. 不同品种猕猴桃多酚和类胡萝卜素组成的主成分分析[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(15): 155–163.
CHANG H, ZHANG YZ, QIAN JP, *et al.* Principal component analysis of polyphenols and carotenoids in different kiwifruit cultivars [J]. Food Research and Development, 2024, 45(15): 155–163.
- [5] 陈成, 王依, 许媛, 等. 4 个红心猕猴桃品种果实品质及氨基酸代谢研究[J]. 安徽农业科学, 2024, 52(6): 44–46, 50.
CHEN C, WANG Y, XU Y, *et al.* Study on fruit quality and amino acid metabolism of four red cartridge kiwifruit cultivars [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2024, 52(6): 44–46, 50.
- [6] 蔡晓, 郭文川, 曾硕崇, 等. 氯吡脞对生长期‘徐香’猕猴桃光学参数及内部品质的影响及其关系分析[J]. 食品科学, 2023, 44(9): 1–6.
CAI X, GUO WC, ZENG SC, *et al.* Correction analysis between optical parameters and internal quality of ‘Xu Xiang’ kiwifruits during growth as affected by 1-(2-chloropyridin-4-yl)-3-phenylurea [J]. Food Science, 2023, 44(9): 1–6.
- [7] 柴振林, 杨柳, 朱杰丽, 等. 氯吡脞在猕猴桃中的残留动态研究[J]. 果树学报, 2013, 30(6): 1011–1015.
CHAI ZL, YANG L, ZHU JL, *et al.* Study on residue dynamic of forchlorfenuron in kiwifruit [J]. Journal of Fruit Science, 2013, 30(6): 1011–1015.
- [8] 解鑫. 氯吡脞对猕猴桃果实发育期及贮藏期营养物质变化的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2023.
XIE X. Effects of chlorfenuron on nutrient changes of *Actinidia chinensis* planch during growth and storage [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2023.
- [9] 李思蒙, 金芬. 水果中 3 种常用“膨大剂”的国内外登记及限量标准解析[J]. 农产品质量与安全, 2024(3): 9–19.
LI XM, JIN F. Analysis of domestic and foreign registration and limit standards of 3 kinds of commonly used “fruit-expander” [J]. Quality and Safety of Agro-products, 2024(3): 9–19.
- [10] 牛锐敏, 许泽华, 陈卫平, 等. 植物生长调节剂对“夏黑”和“丽红宝”葡萄品质的影响[J]. 北方园艺, 2015(18): 55–57.
NIU RM, XU ZH, CHEN WP, *et al.* Effect of plant growth regulators on quality of summer ‘Black’ and ‘Lihongbao’ grape [J]. Northern Horticulture, 2015(18): 55–57.
- [11] 王小艳, 陈玲. 膨大剂在果蔬生产中的应用研究现状及对策[J]. 南方农业, 2014, 8(30): 51–52.
WANG XY, CHEN L. Research status and countermeasures of application of bulking agent in fruit and vegetable production [J]. South China Agriculture, 2014, 8(30): 51–52.
- [12] 赖灯妮, 张群, 尚雪波, 等. 植物生长调节剂在果蔬中的应用与安全性分析研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(11): 451–459.
LAI DN, ZHANG Q, SHANG XB, *et al.* Research progress on the application and safety analysis of plant growth regulator in fruits and vegetables [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(11): 451–459.
- [13] 徐春波, 颜丹红, 袁斌. 植物生长激素——膨大剂应用安全性分析[J]. 现代农业科技, 2012(13): 146.
XU CB, YAN DH, YUAN B. Application safety analysis of plant growth hormone—expansion agent [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2012(13): 146.
- [14] 高兆银, 王家保, 李敏, 等. 氯吡脞对“贵妃”芒果果实产量、品质和采后贮运特性的影响[J]. 热带作物学报, 2024, 45(1): 162–168.
GAO ZY, WANG JB, LI M. *et al.* Effects of forchlorfenuron on yield, quality and storability of guifei mango fruit [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2024, 45(1): 162–168.
- [15] 张文, 罗赛男, 王仁才, 等. 氯吡脞处理对脐红猕猴桃果实品质的影响[J]. 中国果树, 2024(2): 58–62, 67.
ZHANG W, LUO SN, WANG RC, *et al.* Effect of chlorfenuron treatment on fruit quality of ‘Qihong’ kiwifruit [J]. China Fruits, 2024(2): 58–62, 67.
- [16] 沐杨. 氯吡脞(CPPU)浸果提升“奉黄 1 号”猕猴桃品质[J]. 中国果业信息, 2023, 40(9): 64.
MU Y. Chlorophyllurea (CPPU) fruit infusion improves the quality of “Fenghuang No.1” kiwi fruit [J]. China Fruit News, 2023, 40(9): 64.
- [17] 解鑫, 谢汉忠, 郭琳琳, 等. 氯吡脞对‘中华 50’猕猴桃果实品质及食用安全性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(4): 74–81.
XIE X, XIE HZ, GUO LL, *et al.* Effects of forchlorfenuron on quality and edible safety of ‘Zhong Hua 50’ *Actinidia chinensis* planch [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(4): 74–81.
- [18] 赖灯妮, 张群, 尚雪波, 等. 氯吡脞处理对 6 种猕猴桃品质和货架期的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(1): 146–155.
LAI DN, ZHANG Q, SHANG XB, *et al.* Effects of 1-(2-chloropyridin-4-yl)-3-phenylurea treatment on quality and shelf life of 6 kinds of *Actinidia chinensis* planch [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(1): 146–155.
- [19] 赵治兵, 刘永玲, 李莹, 等. 基于 SPME-GC/MS 研究氯吡脞对贵长猕猴桃风味的影响[J]. 贵阳学院学报(自然科学版), 2021, 16(3): 96–98, 104.
ZHAO ZB, LIU YL, LI Y, *et al.* Study on the effect of clopidomide on the flavor of Guichang kiwifruit by SPME-GC/MS [J]. Journal of Guiyang University (Natural Science Edition), 2021, 16(3): 96–98, 104.
- [20] 伍梦婷, 钟文奇, 陶俊杰, 等. CPPU 处理后不同时间点洗脱对‘东红’

- 猕猴桃果实品质的影响[J]. 江西农业大学学报, 2023, 45(3): 584–590.
- WU MT, ZHONG WQ, TAO JJ, *et al.* Effects of elution at different time points after CPPU treatment on fruit quality of ‘Donghong’ kiwifruit [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2023, 45(3): 584–590.
- [21] 钱巍, 冯翠, 顾海龙, 等. 不同浓度氯吡啶处理对徐香猕猴桃果实单果重及品质的影响[J]. 农业与技术, 2020, 40(19): 19–22.
- QIAN W, FENG C, GU HL, *et al.* Effects of different concentrations of chlorpyridine on fruit weight and quality of kiwifruit Xuxiang [J]. *Agricultural and Technology*, 2020, 40(19): 19–22.
- [22] 程欢. 氯吡啶在猕猴桃、枇杷及葡萄上的应用技术研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2017.
- CHENG H. Study on the application of chlorpyridine in kiwifruit, loquat and grape [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2017.
- [23] 张承, 王秋萍, 吴小毛, 等. 氯吡啶对贵长猕猴桃果实氨基酸和香气成分的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(11): 2186–2194.
- ZHANG C, WANG QP, WU XM, *et al.* Effects of forchlorfenuron on amino acids and aroma components of Guichang kiwifruit postharvests [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2019, 33(11): 2186–2194.
- [24] 庞荣, 任亚梅, 袁春龙, 等. 膨大剂处理对六种猕猴桃采收和软熟时品质的影响[J]. 现代食品科技, 2017, 33(8): 235–242, 210.
- PANG R, REN YM, YUAN CL, *et al.* Effects of chlorofenuron treatment on the quality of six varieties of kiwifruit during harvest and ripening periods [J]. *Modern Food Science & Technology*, 2017, 33(8): 235–242, 210.
- [25] 谢新玥, 姚东良, 毛积鹏, 等. 氯吡啶 CPPU 处理对 6 个猕猴桃品种果实发育与品质的影响[J/OL]. 陕西科技大学学报, 1–9. [2025-05-27]. <https://doi.org/10.19481/j.cnki.issn2096-398x.20250428.001>
- XIE XY, YAO DL, MAO JP, *et al.* The effects of chloropyruron treatment on fruit development and quality of six kiwifruit varieties [J/OL]. *Journal of Shaanxi University of Science and Technology*, 1–9. [2025-05-27]. <https://doi.org/10.19481/j.cnki.issn2096-398x.20250428.001>
- [26] 江丽, 孙彬, 袁名安, 等. 毛花长型及毛花短型猕猴桃果实品质比较研究[J]. 园艺与种苗, 2024, 44(11): 73–74, 77.
- JIANG L, SUN B, YUAN MAN, *et al.* Comparative study on fruit quality of long-haired and short-haired kiwifruit [J]. *Horticulture & Seed*, 2024, 44(11): 73–74, 77.
- [27] 安宇宁, 赵云财, 霍俊伟, 等. 26 个软枣猕猴桃品种果实品质分析及综合评价[J/OL]. 食品工业科技, 1–17. [2025-04-07]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024080079>
- AN YN, ZHAO YC, HUO JW, *et al.* Quality analysis and comprehensive evaluation of 26 varieties of *Actinidia arguta* fruits [J/OL]. *Science and Technology of Food Industry*, 1–17. [2025-04-07]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024080079>
- [28] 温锦丽. 软枣猕猴桃不同品种果实酿酒品质及营养评价[D]. 北京: 中国农业科学院, 2024.
- WEN JL. Wine quality and nutritional evaluation of different varieties of kiwifruit [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2024.
- [29] 申素云, 王周倩, 张琦, 等. 36 份猕猴桃种质资源的果实品质与感官评价分析[J]. 植物科学学报, 2023, 41(4): 540–551.
- SHEN SY, WANG ZQ, ZHANG Q, *et al.* Analysis of fruit quality and sensory evaluation of 36 kiwifruit (*Actinidia*) germplasm accessions [J]. *Plant Science Journal*, 2023, 41(4): 540–551.
- [30] 孙博位, 王梦琦, 秦红艳, 等. 88 份软枣猕猴桃种质资源果实品质分析与综合评价[J/OL]. 果树学报, 1–18. [2025-04-07]. <https://doi.org/10.13925/j.cnki.gsx.20240649>
- SUN BW, WANG MQ, QIN HY, *et al.* Comprehensive evaluation of fruit quality of 88 *Actinidia arguta* germplasm resources based on principle component analysis and correction analysis [J/OL]. *Journal of Fruit Science*, 1–18. [2025-04-07]. <https://doi.org/10.13925/j.cnki.gsx.20240649>
- [31] 王丹, 梁锦, 黄天姿, 等. 基于主成分和聚类分析的不同品种猕猴桃鲜食品质评价[J]. 食品工业科技, 2021, 42(7): 1–8.
- WANG D, LIANG J, HUANG TZ, *et al.* Fresh food quality evaluation of kiwifruit based on principal component analysis and cluster analysis [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(7): 1–8.
- [32] 公旭晨, 毛积鹏, 高磊, 等. 6 个猕猴桃品种果实发育期品质变化规律分析[J]. 中国南方果树, 2024, 53(6): 216–224, 232.
- GONG XC, MAO JP, GAO L, *et al.* Analysis of quality changes of six kiwifruit varieties during fruit development [J]. *South China Fruits*, 2024, 53(6): 216–224, 232.

(责任编辑: 于梦娇 蔡世佳)